Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 125-137

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۳۷-۱۲۵

تأثیر نحوه کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش کم‌آبی بر خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد دانه و اسانس گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.)

حسین آزادواری[1]، معصومه نعیمی[2]*، عبداللطیف قلی‌زاده[3]، علی نخزری مقدم[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۲۳

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر اسید سالیسیلیک بر خصوصیات مورفولوژیک، عملکرد دانه و اسانس گیاه دارویی سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) تحت شرایط کم‌آبی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی گنبد کاووس در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. سطوح مختلف آبیاری در چهار سطح شامل: عدم آبیاری (دیم)، یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی، یک‌بار آبیاری در مرحله پر شدن دانه و انجام دو بار آبیاری به‌ترتیب در زمان گلدهی و پر شدن دانه و عامل اسید سالیسیلیک در سه سطح شامل: عدم مصرف اسید سالیسیلیک (شاهد)، پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به‌میزان ۰/۵ میلی‌مولار در لیتر در نظر گرفته شدند. صفات مورد مطالعه در این آزمایش شامل: ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن کپسول در بوته، وزن خشک بوته، درصد اسانس، عملکرد اسانس و در نهایت عملکرد دانه در گیاه بودند. نتایج نشان داد که اثرات برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک بر کلیه صفات مورد ارزیابی به‌جز درصد اسانس و عملکرد اسانس معنی‌دار بود و کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش صفات مورفولوژیکی گردید. بیشترین میزان اسانس (۰/۶۵۵ درصد) و عملکرد اسانس (۷/۹۳ کیلوگرم در هکتار) در سطوح مختلف آبیاری به‌ترتیب مربوط به تیمار آبیاری در مرحله پر شدن دانه و دو بار آبیاری بود. تیمار اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی بیشترین میزان اسانس و عملکرد اسانس را به‌خود اختصاص داد. بیشترین عملکرد دانه (۱۳۳۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در شرایط دوبار آبیاری و کمترین عملکرد دانه در تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک به‌میزان ۸۱۷ کیلوگرم در هکتار در شرایط دیم به‌دست آمد. به‌طور کلی نتایج نشان داد که با مصرف اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی و دو بار آبیاری می‌توان به عملکرد مطلوب سیاهدانه دست یافت.

واژه‌های کلیدی: اسانس، تنش خشکی، پرایمینگ، عملکرد دانه، محلول‌پاشی

مقدمه

اهمیت گیاهان دارویی و شناسایی نقش حیاتی آن‌ها در تحقق سلامت افراد جامعه، خودکفایی دارویی، ایجاد اشتغال و توسعه اقتصادی بر کسی پوشیده نیست (Khosarvi Pour *et al.*, 2015). گیاهان دارویی دارای خواص منحصر به فرد و ارزشمند بوده و بنابراین تا به امروز از توجه بالایی برخوردار بوده‌اند. اسانس‌های به‌دست آمده از گیاهان به‌عنوان عطر یا طعم‌دهنده در غذاها و نوشیدنی‌ها و همچنین به‌عنوان داروی گیاهی مدت‌هاست که مورد استفاده قرار می‌گیرند (Shibamoto *et al.*, 2010).

سیاهدانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی یک‌ساله متعلق به تیره آلاله[5]، به ارتفاع ۶۰ تا ۷۰ سانتی‌متر، برگ‌ها به رنگ سبز خاکستری دارای بریدگی‌های نخی، گل‌ها به رنگ سفید تا آبی، میوه به‌صورت برگه (کپسول) می‌باشد که درون آن تعداد زیادی دانه سیاه و معطر قرار دارد. دانه سیاهدانه حاوی ۴۰ درصد روغن و حدود ۱/۴ درصد اسانس می‌باشد. دانه‌های این گیاه از لحاظ دارویی به‌عنوان بادشکن، قاعده‌آور، مسهل، شیرافزا، ضد یبوست و تقویت‌کننده نیروی جنسی در مردان کاربرد دارد. این گیاه علاوه بر خودرو بودن در مناطق مختلف اروپا، غرب آسیا و برخی مناطق ایران به‌صورت زراعی نیز کشت می‌شود (Majnoon Hosseini and Davazdah-Emami, 2007).

تنش خشکی به‌عنوان یک عامل کاهنده رشد و عملکرد گیاهان در بسیاری از مناطق جهان به‌شمار می‌آید که تولید محصولات زراعی را به‌طور جدی محدود کرده و وقوع تغییرات اقلیمی در کل جهان، این

۱- کارشناس ارشد کشاورزی اکولوژیک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
۲- دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
۳- دکتری خاک‌شناسی- گرایش شیمی و حاصل‌خیزی خاک و تغذیه گیاه، استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
۴- دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، استادیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس
(*- نویسنده مسئول: Email: Naeemi_701@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v18i1.82805

5- Ranunculaceae

وضعیت را جدی‌تر ساخته است (Anjum *et al*., 2011). تنش ناشی از کمبود آب سبب کاهش رشد قسمت‌های مختلف گیاه اعم از ریشه‌ها، سطح برگ، ارتفاع گیاه، وزن خشک، فتوسنتز، بسته شدن روزنه‌ها، تعرق، تخریب آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و تغییر در سنتز پروتئین‌ها، تجمع اسیدهای آمینه و کاهش کلروفیل می‌شود (Koocheki *et al*., 2004). بسیاری از گیاهان دارای مکانیسم‌های خاصی جهت مقابله با شرایط کم‌آبی و افزایش کارآیی مصرف آب می‌باشند (Ghaderi *et al*., 2010). از ابتدایی‌ترین پاسخ گیاهان به کمبود آب بسته شدن روزنه‌ها است که جریان دی‌اکسید کربن به کلروپلاست را محدود می‌کند (Medrano *et al*., 2002).

در مطالعات مختلفی تأثیر تنش خشکی بر رشد و عملکرد گیاهان دارویی مورد توجه قرار گرفته است. در یک تحقیق، گزارش شد که با افزایش فواصل آبیاری به‌طور معنی‌داری از ارتفاع بوته، تعداد دانه در کپسول، تعداد کپسول در بوته، عملکرد بیولوژیکی و عملکرد دانه گیاه دارویی سیاهدانه کاسته شد (Noroz Poor and Rezvani Moghadam, 2005). در بررسی دیگری مشاهده شد که ارتفاع بوته، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، عملکرد بیولوژیکی، عملکرد دانه، درصد اسانس و عملکرد اسانس سیاهدانه تحت تنش خشکی کاهش یافت (Rezapor *et al*., 2011). صادق‌زاده اهری و همکاران (Sadeghzadeh Ahari *et al*., 2010) با مطالعه اثر تنش خشکی بر گیاه شنبلیله (*Trigonella foenumgraecum* L.) اظهار داشتند که با افزایش شدت تنش خشکی، عملکرد به شدت تحت تأثیر قرار گرفت. مطالعات روی گیاه دارویی همیشه بهار (*Calendula officinalis* L.) مشخص کرد که در شرایط تنش خشکی، ارتفاع گیاه، تعداد گل و عملکرد دانه این گیاه به شدت کاهش یافت (Moradi Marjaneh and Goldani, 2011).

استفاده از محرک‌های زیستی یکی از راهکارهای کاهش اثرات تنش‌های زیستی و غیر زیستی و افزایش عملکرد و کیفیت محصول است. اسید سالیسیلیک یا اورتو هیدروکسی بنزوئیک اسید به گروهی از ترکیبات فنلی تعلق دارد که به‌عنوان یک مولکول مهم برای تعدیل پاسخ‌های گیاه به تنش‌های محیطی شناخته شده است (EL-Tayeb, 2005). اسید سالیسیلیک یک تنظیم‌کننده رشد بیرونی است که روی جوانه‌زنی بذر، بسته شدن روزنه، جذب و انتقال یون، نفوذپذیری غشاء، سرعت رشد و نیز فتوسنتز تأثیر می‌گذارد (Hussein *et al*., 2007).

اسید سالیسیلیک فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاهان را تنظیم و عوارض جانبی تنش را کاهش داده و می‌تواند اثر نامطلوب تنش را بهبود بخشد (Yavas and Unay, 2016). گیاهان با تغییرات مورفولوژیکی، تغییر در الگوهای نموی و تغییر در متابولیسم سلولی به کم‌آبی سازگار می‌شوند. اسید سالیسیلیک با تجمع پرولین، حفظ فعالیت آنزیم نیترات‌ردکتاز، حفظ محتوای نیتروژن و پروتئین، افزایش غلظت کلروفیل، سرعت فتوسنتز و فعالیت روبیسکو در شرایط کم‌آبی، گیاه را مقاوم می‌نماید (Umebese *et al*., 2009).

نتایج مطالعه مرادی‌مرجانه و گلدانی (Moradi Marjaneh and Goldani, 2011) روی گیاه همیشه بهار نشان داد که استفاده از اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر صفات مورفولوژیکی و زراعی این گیاه داشته و توانسته اثرات مخرب تنش خشکی را به‌میزان قابل توجهی کاهش دهد. گزارش‌های دیگری نیز از نقش اسید سالیسیلیک بر افزایش عملکرد ریحان (*Ocimum basilicum* L.) و مرزنجوش (*Origanum majorana* L.) ارائه شده است (Fatma and Gharib, 2007). همچنین کاربرد اسید سالیسیلیک در سطح ۲۷۰۰ میکرو مولار به‌صورت پرایمینگ در بذر لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata* L.) باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد به‌میزان ۴۰ درصد در زمان تنش خشکی گردید (Pak Mehr *et al*., 2011).

با توجه به مطالب ذکر شده، هدف از اجرای این پژوهش ارزیابی روش‌های مختلف کاربرد و تعیین بهترین نحوه کاربرد اسید سالیسیلیک در سطوح مختلف آبیاری بر برخی پارامترهای مورفولوژیکی، عملکرد دانه و درصد و عملکرد اسانس در گیاه دارویی سیاهدانه بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس با مختصات جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. اقلیم گنبد کاووس بر اساس طبقه‌بندی کوپن اقلیم مدیترانه‌ای گرم و نیمه‌خشک بوده و دارای متوسط بارندگی ساله ۴۵۰ میلی‌متر (بر اساس داده‌های هواشناسی کشور، ۱۳۹۶) می‌باشد (جدول ۱). قبل از اجرای آزمایش برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد اندازه‌گیری قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۲ درج شده است.

در این پژوهش عامل آبیاری در چهار سطح شامل عدم آبیاری (کشت دیم)، یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی، یک‌بار آبیاری در مرحله پر شدن دانه و دو بار آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه و اسید سالیسیلیک در سه سطح شامل عدم مصرف، پرایمینگ بذر با اسید سالیسیلیک (غلظت ۰/۵ میلی‌مولار) و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (۰/۵ میلی‌مولار) مورد ارزیابی قرار گرفتند. به‌منظور اعمال تیمارهای مربوط به پرایمینگ بذر، پس از تهیه غلظت مورد نظر، بذرها در محلول اسید سالیسیلیک به‌مدت ۶ ساعت در تاریکی غوطه‌ور شده (Metwally *et al*., 2003) و سپس بذور پس از شستشو توسط آب مقطر در دمای اتاق خشک و در مزرعه کشت شدند.

جدول ۱- داده‌های هواشناسی منطقه گنبد کاووس در طی دوره رشد سیاهدانه (۱۳۹۷-۱۳۹٦)
Table 1- Meteorological data of Gonbad Kavous area during the period of Black cumin growth (2017-2018)

ماه‌های سال Months of the year	میانگین دما (°C)	میانگین رطوبت نسبی (%)	میزان بارندگی Rainfall (mm)
بهمن (Jan)	6.7	77	32.9
اسفند (Feb)	11.7	71	61.7
فروردین (Mar)	15.6	75	40.9
اردیبهشت (Apr)	20.3	68	40.4
خرداد (May)	26.6	59	7.8

جدول ۲- خصوصیات خاک محل آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر)
Table 2- Soil properties of experiment site (depth 0-30 cm)

بافت خاک Soil texture	لای Silt (%)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (ppm)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	مواد خنثی شونده Self-neutralizing material (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC $ds.m^{-1}$
Silt-Loam	56	13	31	13	0.08	0.78	10.8	7.6	0.96

عملیات کاشت در بهمن سال ۱۳۹٦ به روش جوی و پشته انجام شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها از هم پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد. کرت‌هایی با ابعاد ۱۲۰ سانتی‌متر در ۲۵۰ سانتی‌متر ایجاد و در داخل هر کرت چهار ردیف برای کاشت در نظر گرفته شد. در طول اجرای آزمایش هیچ نوع علف‌کش، آفت‌کش و یا قارچ‌کشی استفاده نشد. پس از سبز شدن بذور در مرحله چهار تا شش برگی اقدام به تنک‌کاری در فاصله‌های معین گردید و وجین علف‌های هرز در شش مرحله صورت گرفت. به‌منظور اعمال تیمار محلول‌پاشی، پس از تهیه محلول اسید سالیسیلیک با غلظت مورد نظر محلول‌پاشی در سه نوبت شامل یک‌بار در مرحله قبل از گلدهی، گلدهی (پنجاه درصد گلدهی) و مرحله پر شدن دانه انجام شد.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، هنگامی که رنگ بوته‌ها متمایل به زرد شده ولی هنوز کپسول‌ها شکاف بر نداشته بودند، تعداد ۱۰ بوته از هر کرت آزمایشی برداشت شده و صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن خشک بوته و وزن کپسول در بوته اندازه‌گیری شدند. برای تعیین عملکرد نهایی، دو ردیف کناری و نیم‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای حذف و مابقی بوته‌ها برداشت شد. سپس کپسول‌های کلیه بوته‌ها در سطح برداشتی کوبیده شد و عملکرد دانه در واحد سطح ثبت گردید.

استخراج اسانس به روش تقطیر با آب و با استفاده از دستگاه کلونجر انجام گرفت (Clevenger, 1928). برای این منظور، ۱۰ گرم نمونه بذری از هر کرت توزین و پس از آسیاب کردن مختصر با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر درون بالن مخصوص دستگاه مخلوط گردید و اسانس‌گیری به‌مدت ۳ ساعت انجام گردید. عملکرد اسانس در واحد سطح از حاصل‌ضرب عملکرد دانه در درصد اسانس محاسبه گردید.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

محاسبات آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (9.1) انجام شد. میانگین صفات مورد مطالعه نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌داری LSD محافظت‌شده در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند و برای صفاتی که برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک معنی‌دار شد، برش‌دهی سطوح کاربردی اسید سالیسیلیک در سطوح مختلف عامل آبیاری به‌صورت جداگانه انجام شد. نمودارها مورد نیاز نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم شدند.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

ارتفاع بوته سیاهدانه در این پژوهش تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک (P<۰/۰۱) و اثر متقابل بین سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک قرار گرفت (P<۰/۰۵، جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک نشان داد که در شرایط دیم، بیشترین ارتفاع بوته (۴۵/۰۱ سانتی‌متر) متعلق به تیمار پرایمینگ بود که با تیمار محلول‌پاشی (۴۳/۱۳ سانتی‌متر) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴). در این شرایط آبیاری کمترین ارتفاع بوته مربوط به تیمار عدم مصرف اسید

سالیسیلیک (۴۱/۱۶ سانتی‌متر) بود (جدول ۴). در شرایط دیم با کاربرد اسید سالیسیلیک ارتفاع گیاه افزایش یافت (جدول ۴). مشخص شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث افزایش تقسیم و تمایز سلول‌ها و افزایش تعداد روزنه‌ها می‌گردد و از طرفی سبب افزایش بافت‌های استحکامی و جلوگیری از تخریب دیواره‌های سلولی می‌شود (Madah *et al*., 2006)، به همین دلیل در این تحقیق کاربرد آن مانع از کاهش شدید ارتفاع ساقه در اثر خشکی شده است. همچنین بر اساس گزارشات موجود به‌نظر می‌رسد اسید سالیسیلیک بتواند سبب بهبود جذب عناصر غذایی به‌خصوص در شرایط تنش شود که این خود می‌تواند افزایش رشد را به‌همراه داشته باشد (Elizabeth Abreu and Munne-Bosch, 2008).

رضایی چیانه و پیرزاد (Rezaei Chiyaneh and Pirzad, 2014) در آزمایشی اثر کم‌آبی و اسید سالیسیلیک را بر ارتفاع ساقه سیاهدانه بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک حاصل شد و در این تیمار ارتفاع بوته به‌طور میانگین ۱۷ درصد نسبت به تیمار شاهد (بدون اسید سالیسیلیک) افزایش نشان داد. همچنین در پژوهش دیگری مشاهده شد که کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط تنش خشکی سبب افزایش ارتفاع گیاه کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) گردید (Shirzad *et al*., 2011).

تعداد شاخه فرعی

نتایج جدول تجزیه واریانس بیانگر اثر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک (P<۰/۰۱) و برهمکنش آن‌ها بر تعداد شاخه فرعی بود (P<۰/۰۵، جدول ۳). مقایسه میانگین‌های برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک نشان داد که در شرایط دیم، بیشترین تعداد شاخه فرعی (۸/۵۳ عدد) متعلق به تیمار محلول‌پاشی بود که با تیمار پرایمینگ (۸/۳۶ عدد) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). کمترین تعداد شاخه فرعی مربوط به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۶/۴۰ عدد) در شرایط دیم بود (جدول ۴). بررسی نتایج برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک بر تعداد شاخه فرعی نشان می‌دهد که در شرایط آبیاری در مراحل مختلف رشدی گیاه، کاربرد اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری بر تعداد شاخه فرعی سیاهدانه نداشت، ولی تحت شرایط دیم کاربرد اسید سالیسیلیک منجر به افزایش تعداد شاخه فرعی گردید و لذا کاربرد آن تحت شرایط دیم اثرات محسوس‌تری داشت (جدول ۴). نتایج همچنین نشان داد که کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پرایمینگ و محلول‌پاشی در شرایط دیم، به‌ترتیب با ۳۰/۶۲ و ۳۳/۲۸ درصد باعث افزایش تعداد شاخه فرعی نسبت به تیمار عدم کاربرد اسید سالیسیلیک شد (جدول ۴). صفت تعداد شاخه فرعی در بوته از نظر تشکیل تعداد کپسول در بوته، تعداد دانه در کپسول و عملکرد دانه نقش مهمی دارد.

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات سیاهدانه در سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک

Table 3- Analysis of variance of some black cumin traits at different levels of irrigation and salicylic acid

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean square								
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه‌های فرعی Number of lateral branches	تعداد کپسول در بوته Number of follicle per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per follicle	وزن کپسول در بوته Weight of follicle per plant	وزن خشک بوته Plant dry weight	میزان اسانس Essential oil content	عملکرد اسانس Essential oil yield	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	0.030 ns	1.86 **	0.217ns	9.16ns	0.0003ns	0.354ns	0.0069 ns	0.398 ns	3350.6 ns
آبیاری (I) Irrigation	3	15.28**	7.06**	6.972**	187.36**	0.006**	1.86**	0.138**	39.1**	229451**
سالیسیلیک اسید (SA)	2	18.26**	6.57**	0.954**	409.42**	0.006**	6.50**	0.054**	14.69**	74621**
Salicylic acid I×SA	6	1.46*	0.581*	1.63**	67.42**	0.001**	0.501**	0.0096ns	1.14ns	8876.8 **
خطا Error	22	0.480	0.188	0.458	3.73	0.0002	0.154	0.0054	0.761	995.3
ضریب تغییرات CV (%)		1.5	4.9	5.4	2.2	4.6	6.9	13.8	14.6	2.9

ns، **، * به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطوح ۱ و ۵ درصد

ns, * and ** not significant, significant at 0.01 and 0.05 probability level, respectively.

جدول ٤- برش‌دهی اثرات متقابل سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک بر برخی صفات گیاه سیاهدانه
Table 4- Slice interaction effects of different levels of irrigation and salicylic acid on some black cumin traits

تیمارها Treatments		ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد شاخه‌های فرعی Number of lateral branches	تعداد کپسول در بوته Number of follicle per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per follicle	وزن کپسول در بوته Weight of follicle per plant (g)	وزن خشک بوته Plant dry weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg. ha^{-1})
سطح آبیاری Irrigation level	اسید سالیسیلیک Salicylic acid							
دیم (Dry farming)	S_1	41.16b	6.40b	10.63b	71.28b	0.274b	4.50c	817c
	S_2	45.1a	8.36a	12.83a	91.08a	0.351a	5.62a	935b
	S_3	43.53ab	8.53a	11.36b	86.73a	0.374a	5.02b	1006a
LSD 5%		2.03	1.53	1.15	6.17	0.054	0.28	51.14
یک‌بار آبیاری در مرحله گلدهی (Once irrigation at flowering stage)	S_1	46.01a	7.70a	11.73b	80.36b	0.330a	5.14b	873b
	S_2	46.75a	9.16a	14.33a	87.32ab	0.356a	6.57a	1063a
	S_3	45.76a	9.06a	12.30ab	92.73a	0.377a	5.34ab	1164a
LSD 5%		2.06	2.05	2.24	10.24	0.047	1.28	156
یک‌بار آبیاری در مرحله پر شدن دانه (Once irrigation at grain filling stage)	S_1	43.93a	8.86a	12.20a	84.37c	0.380a	5.36a	1092a
	S_2	46.90a	10.16a	12.40a	93.52b	0.410a	6.10a	1151a
	S_3	44.65a	9.43a	10.90b	99.35a	0.391a	5.59a	1171a
LSD 5%		3.12	1.85	1.15	4.55	0.092	1.95	90.16
دو بار آبیاری به‌ترتیب در مرحله گلدهی و پر شدن دانه (Double irrigation at flowering and grain filling stages)	S_1	44.51a	9.33a	13.93a	91.83a	0.370a	5.36b	1265b
	S_2	46.56a	10.30a	14.46a	92.65a	0.369a	7.62a	1290ab
	S_3	44.90a	9.50a	12.13a	92.42a	0.388a	5.49b	1330a
LSD 5%		3.28	1.62	4.024	6.93	0.045	1.68	41.22

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ دارای تفاوت معنی‌داری نیستند. S1، S2 وS3 به‌ترتیب عدم مصرف اسید سالیسیلیک، پرایمینگ و محلول‌پاشی می‌باشد.

In each column, averages that have at least one common alphabet, do not differ significantly from the LSD test at 5% probability level. S1, S2 and S3, respectively, Non application of salicylic acid, Priming and foliar spraying treatments.

نتایج نشان می‌دهد که تحت شرایط دیم تیمار گیاهان با اسید سالیسیلیک تأثیر بیشتری بر تعداد شاخه‌های فرعی دارد و با توجه به این‌که اسید سالیسیلیک به‌عنوان یک ماده شبه هورمونی شناخته شده است، به‌نظر می‌رسد این ماده با تأثیر بر مریستم‌های رویشی و زایشی موجب افزایش تعداد شاخه‌های فرعی می‌گردد. در همین راستا گزارش شده است که اسید سالیسیلیک وضعیت هورمونی گیاه را متعادل نموده و باعث افزایش مقدار اکسین و سیتوکنین می‌گردد و از این طریق به افزایش تعداد شاخه‌های فرعی در گیاه کمک می‌کند. نتایج این پژوهش با نتایج فرجام‌فر و همکاران (Farjamfar *et al*., 2014) روی گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) مطابقت داشت. در تحقیقی عنوان شده است که محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت ۱ میلی‌مولار توانست بیشترین تعداد ساقه جانبی در گیاه ریحان را به‌خود اختصاص دهد (Ramrodi and Khamar, 2013).

تعداد کپسول در بوته

نتایج تجزیه واریانس صفت تعداد کپسول در بوته نشانگر اثر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک بود (P<۰/۰۱، جدول ۳). مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل مشخص کرد که بیشترین تعداد کپسول در بوته از تیمار پرایمینگ (۱۴/۴۶ عدد) در شرایط دو بار آبیاری به‌دست آمد که با تیمار محلول‌پاشی و عدم مصرف اسید سالیسیلیک اختلاف معنی‌داری از لحاظ آماری مشاهده نشد (جدول ۴). کمترین تعداد کپسول در بوته متعلق به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۱۰/۶۳ عدد) در شرایط دیم بود (جدول ۴). در شرایط کشت به صورت دیم، بیشترین تعداد کپسول متعلق به تیمار پرایمینگ (۱۲/۸۳ عدد) بود (جدول ۴). همچنین نتایج اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک نشان داد که در شرایط دیم با کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پرایمینگ، تعداد کپسول نسبت به تیمارهای محلول‌پاشی و عدم مصرف اسید سالیسیلیک به‌ترتیب به‌میزان ۱۲/۹۴ و ۲۰/۶۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). با توجه به نتایج می‌توان اظهار کرد که اسید سالیسیلیک توانسته است تأثیرات ناشی از تنش خشکی را تعدیل کند که این امر حاکی از تأثیر مهم اسید سالیسیلیک در افزایش صفات کمی از جمله تعداد کپسول در گیاه دارویی سیاهدانه است. در شرایط آبیاری در مرحله گلدهی، بیشترین تعداد کپسول متعلق به تیمار

پرایمینگ (۱۴/۳۳ عدد) بود که با تیمار محلول‌پاشی (۱۲/۳۰ عدد) اختلاف معنی‌داری مشاهده نگردید (جدول ۴).

گزارش شده است در شرایط تنش خشکی، تعداد کپسول در سیاه‌دانه به‌دلیل کاهش تعداد شاخه‌های گل‌دهنده به‌طور معنی‌دار کاهش می‌یابد (Noroz Poor and Rezvani Moghadam, 2005). کاربرد اسید سالیسیلیک می‌تواند از طریق پایداری غشاء، هدایت روزنه‌ای و باز نگه‌داشتن روزنه‌ها از تجمع یون‌های سمی جلوگیری نماید (Hayat *et al*., 2010) و در نهایت با افزایش در سرعت فتوسنتز و مواد فتوسنتزی از کاهش تعداد کپسول در بوته بکاهد. در این پژوهش با افزایش شدت تنش به‌علت کاهش رشد گیاه تعداد کپسول‌های کمتری در گیاه تشکیل شد. از طرفی با کاربرد اسید سالیسیلیک به‌ویژه به‌صورت پرایمینگ اثر سوء تنش آبی کاهش یافت و باعث افزایش تعداد کپسول‌های بیشتری نسبت به‌حالت محلول‌پاشی و عدم مصرف اسید سالیسیلیک شد. بنابراین می‌توان گفت که اسید سالیسیلیک با تأمین نیاز رطوبتی و کاهش تبخیر و تعرق در گیاه، باعث توانایی تولید و رشد بهتر در گیاه شده و تعداد کپسول در گیاه نیز افزایش می‌یابد. این یافته‌ها با نتایج مطالعات علیزاده و همکاران (Alizadeh *et al*., 2014) روی گیاه گلرنگ مطابقت دارد.

تعداد دانه در کپسول

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است که سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک بر تعداد دانه در کپسول اثر معنی‌داری داشته است (P<۰/۰۱، جدول ۳). مقایسه میانگین نتایج اثرات متقابل نشان داد که بیشترین تعداد دانه در کپسول (۹۹/۳۵ عدد) به تیمار محلول‌پاشی در شرایط آبیاری در مرحله پر شدن دانه اختصاص داشت و کمترین تعداد دانه در کپسول متعلق به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۷۱/۲۸ عدد) در شرایط دیم بود، به‌طوری که در این شرایط بالاترین تعداد دانه در کپسول (۹۱/۰۸ عدد) را تیمار پرایمینگ به‌خود اختصاص داد که با تیمار محلول‌پاشی (۸۶/۷۳ عدد) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

بیشترین تعداد دانه در کپسول در شرایط آبیاری در مرحله گلدهی، مربوط به تیمار محلول‌پاشی (۹۲/۷۳ عدد) که با تیمار پرایمینگ (۸۷/۳۲ عدد) اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین تعداد دانه در کپسول متعلق به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۸۰/۳۶ عدد) که با تیمار پرایمینگ در یک گروه از لحاظ آماری قرار گرفتند (جدول ۴). احتمالاً در این آزمایش اسید سالیسیلیک توانسته با افزایش میزان فتوسنتز باعث افزایش تعداد دانه در کپسول نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک شود. همچنین برخی محققین گزارش کردند که کاربرد اسید سالیسیلیک موجب افزایش کربوهیدرات‌های قابل دسترس برای ارسال به دانه‌های در حال تشکیل می‌گردد که در نتیجه مقدار سقط جنین کاهش و تعداد دانه تشکیل شده در کپسول افزایش می‌یابد (Harris and Mottaram, 2004). اسفینی‌فراهانی و همکاران (Esfini Farahani *et al*., 2012) گزارش کردند، کاربرد ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک توانسته است از طریق تنظیم فرآیند گلدهی، تعداد دانه در چتر زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) را به‌طور میانگین ۲۰ درصد نسبت به شاهد افزایش دهد. افزایش تعداد دانه در باقلا (*Vicia* faba L.) با مصرف اسید سالیسیلیک گزارش شده است (Shekari *et al*., 2010).

وزن کپسول در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که وزن کپسول در بوته تحت تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک قرار گرفت (P<۰/۰۱، جدول ۳). اثر متقابل این صفت نشان داد که بیشترین وزن کپسول از تیمار پرایمینگ (۰/۴۱ گرم) در شرایط آبیاری در مرحله پر شدن دانه مشاهده شد (جدول ۴). کمترین وزن کپسول مربوط به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۰/۲۷ گرم) در شرایط دیم به‌دست آمد، به‌طوری که در این شرایط آبیاری بیشترین وزن کپسول متعلق به تیمار محلول‌پاشی (۰/۳۷ گرم) بود که نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک ۳۶/۴۹ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴).

وزن خشک بوته

نتایج تجزیه واریانس مربوط به اثر سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک بر صفت وزن خشک گیاه حاکی از آن بود که تمامی اثرات ساده و متقابل بر این صفت معنی‌دار بودند (P<۰/۰۱، جدول ۳). با توجه به نتایج گزارش شده در جدول ۴، بیشترین وزن خشک بوته متعلق به تیمار پرایمینگ (۷/۶۲ گرم) در شرایط دو بار آبیاری بود و کمترین وزن خشک بوته را تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۴/۵۰ گرم) در شرایط دیم به‌خود اختصاص داد. با توجه به این‌که در این آزمایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در شرایط دیم کاهش یافتند، در نتیجه وزن خشک گیاه هم کاهش پیدا کرد. کاربرد اسید سالیسیلیک تأثیر مثبت و معنی‌داری بر این صفت داشت، به‌گونه‌ای که با کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت پرایمینگ و محلول‌پاشی در شرایط دیم، وزن خشک بوته به‌ترتیب ۲۴/۸۸ و ۱۱/۵۵ درصد نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک افزایش یافته است (جدول ۴). در شرایط آبیاری در مرحله گلدهی بیشترین وزن خشک گیاه (۶/۵۷ گرم) متعلق به تیمار پرایمینگ بود که با تیمار محلول‌پاشی (۵/۳۴ گرم) از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). بیات و همکاران (Bayat *et al*., 2011) به این مسئله اشاره کردند که اسید سالیسیلیک از راه حفظ سلامت ریشه‌ای در برابر اثرات مضر تنش خشکی میزان رشد آن را افزایش داد و باعث جذب بیشتر آب و مواد

غذایی شده که در نهایت منجر به افزایش رشد گیاه می‌شود. ایشان همچنین به افزایش آنزیم روبیسکو و به‌دنبال آن بهبود فتوسنتز و افزایش سطح برگ در اثر مصرف اسید سالیسیلیک در شرایط خشکی اشاره کردند.

گزارشاتی مبتنی بر تأثیر مثبت کاربرد اسید سالیسیلیک بر ماده خشک تولیدی سیاهدانه (Rezaei Chiyaneh and Pirzad, 2014) و بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.) توسط سایر محققین ارائه شده است (Pourakbar and Abedzadeh, 2015).

عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد دانه سیاهدانه نیز حاکی از تأثیر معنی‌دار سطوح مختلف آبیاری، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آن‌ها بود (P<۰/۰۱، جدول ۳). همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، بیشترین میزان عملکرد دانه (۱۳۳۰ کیلوگرم در هکتار) از تیمار محلول‌پاشی در شرایط دو بار آبیاری به‌دست آمد و کمترین میزان عملکرد دانه از تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۸۱۷ کیلوگرم در هکتار) در شرایط دیم حاصل شد. مشخص شده است که کاربرد اسید سالیسیلیک از طریق تأثیر مثبت بر فرآیند فتوسنتز، انتقال مواد فتوسنتزی، تلقیح گل‌ها، جلوگیری از سقط شدید گل‌ها و افزایش دوره پر شدن دانه‌ها موجب بهبود عملکرد دانه می‌شود (Sadeghi Pour, 2011). نتایج همچنین نشان داد که اسید سالیسیلیک توانست تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه در شرایط دیم ایجاد کند به‌طوری که کاربرد اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی و پرایمینگ، باعث افزایش به‌ترتیب ۲۳/۰۸ و ۱۴/۳۹ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک شد (جدول ۴). افزایش عملکرد دانه در شرایط دوبار آبیاری و همراه با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک را می‌توان به افزایش فتوسنتز و ماده‌سازی نسبت داد که در این شرایط مواد فتوسنتزی و مواد غذایی بیشتری از برگ به دانه انتقال یافته و باعث افزایش عملکرد دانه شده است. محققین اظهار داشتند که اسید سالیسیلیک بر فتوسنتز و رشد گیاه تحت شرایط تنش اثر مثبت دارد و در واقع، از طریق توسعه واکنش‌های ضدتنشی، نظیر افزایش تجمع پرولین، باعث تسریع در بهبود رشد پس از رفع تنش می‌شود (Wen *et al*., 2005).

اسفینی‌فراهانی و همکاران (Esfini Farahani *et al*., 2012) گزارش کردند که غلظت ۰/۷ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک عملکرد دانه زیره سبز را به‌میزان ۱۵ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. همچنین بالجانی و شکاری (Baljani and Shekari, 2012) در گیاه گلرنگ دریافتند که در شرایط تنش خشکی، اسید سالیسیلیک با افزایش تراکم کلروفیل در واحد سطح برگ، حفظ منبع فتوسنتزکننده در طول دوره رشدی، دریافت انرژی تابشی خورشید و انتقال مواد فتوسنتزی به سمت مقصد (دانه) توانست عملکرد دانه گیاه گلرنگ را افزایش دهد.

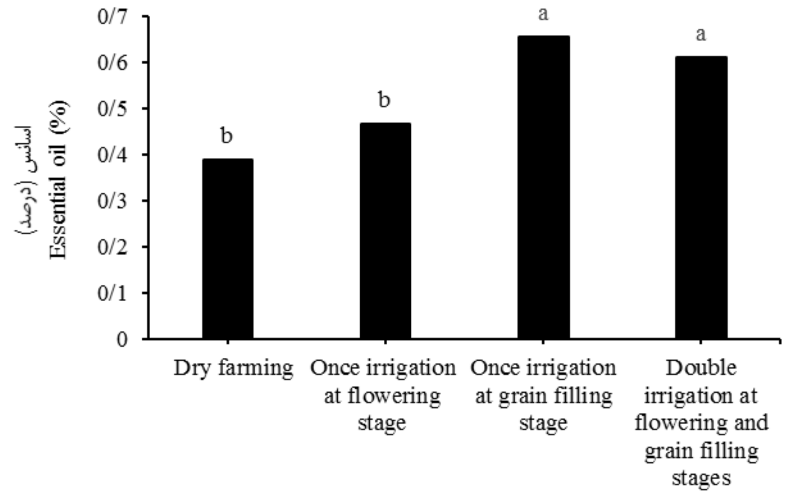
درصد اسانس

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک بر درصد اسانس معنی‌دار بود (P<۰/۰۱)، ولی برهمکنش آبیاری و اسید سالیسیلیک بر این صفت اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان اسانس در تیمار آبیاری در مرحله پر شدن دانه بالاترین مقدار (۰/۶۵۵ درصد) را داشته که با تیمار دو بار آبیاری (۰/۶۱۱ درصد) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱). کمترین میزان اسانس مربوط به تیمار دیم (۰/۳۸۸ درصد) بود، که با تیمار آبیاری در مرحله گلدهی (۰/۴۶۶ درصد) از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۱). افزایش محتوای اسانس دانه تحت شرایط آبیاری در مرحله پر شدن دانه و دو بار آبیاری نسبت به تیمار دیم به‌ترتیب ۶۸/۸۱ و ۵۷/۴۷ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱).

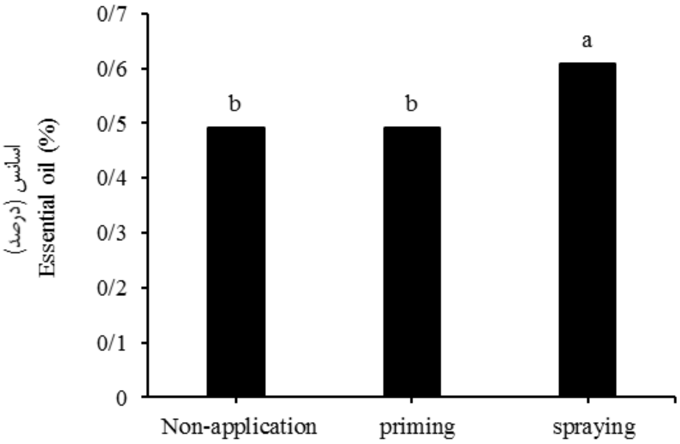
نکته‌ای که باید مورد اشاره قرار گیرد این است که همیشه با بالا رفتن میزان تنش، درصد اسانس نمی‌تواند افزایش یابد. چرا که در تنش‌های شدید، گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی خود را صرف تولید ترکیبات تنظیم‌کننده‌های اسمزی از جمله پرولین، گلیسین-بتائین و ترکیبات قندی همانند ساکاروز، فروکتوز و فروکتان می‌کند که بتواند پتانسیل آب سلولی را کاهش دهد (Rezaei Chiyaneh, 2012). گیاهان بسته به گونه گیاهی و ژنوتیپ به تنش خشکی واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند. بنابراین تنظیم و مدیریت آب در گیاهان دارویی و معطر از نظر تولید اسانس حائز اهمیت زیادی است. ربیی و همکاران (Rebey *et al*., 2012) در مطالعه اثر تنش خشکی (بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید) روی زیره سبز نشان دادند که گیاهان تحت تنش متوسط نسبت به دو تیمار بدون تنش (شاهد) و تنش شدید از اسانس بالاتری برخوردار بودند. در بررسی نوروزپور و رضوانی‌مقدم (Noroz Poor and Rezvani Moghadam, 2006) و رضاپور و همکاران (Rezapor *et al*., 2011) در سیاهدانه با افزایش تنش کم‌آبی، درصد اسانس به‌طور معنی‌دار کاهش یافت که با نتایج آزمایش حاضر مطابقت دارد.

نتایج همچنین نشان داد بیشترین میزان اسانس از تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک (۰/۶۰۸ درصد) حاصل گردید که افزایش ۲۳/۸۲ درصدی نسبت به تیمار شاهد را به دنبال داشت و حائز رتبه برتر در جدول مقایسه میانگین‌ها گردید (شکل ۲). نتایج حاکی از تأثیر مثبت محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک در افزایش صفات کیفی از جمله مقدار اسانس در گیاه دارویی سیاهدانه است. به‌نظر می‌رسد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک با خنثی کردن رادیکال‌های آزاد و فرم‌های فعال اکسیژن تولید شده در اثر تنش خشکی در

گیاهان، سبب افزایش مقدار اسانس در گیاه دارویی سیاهدانه می‌شود (Kabiri, 2011).



شکل ۱- مقایسه میانگین درصد اسانس تحت تأثیر آبیاری
Figure 1- Mean comparison of Essential oil percentage affected by irrigation



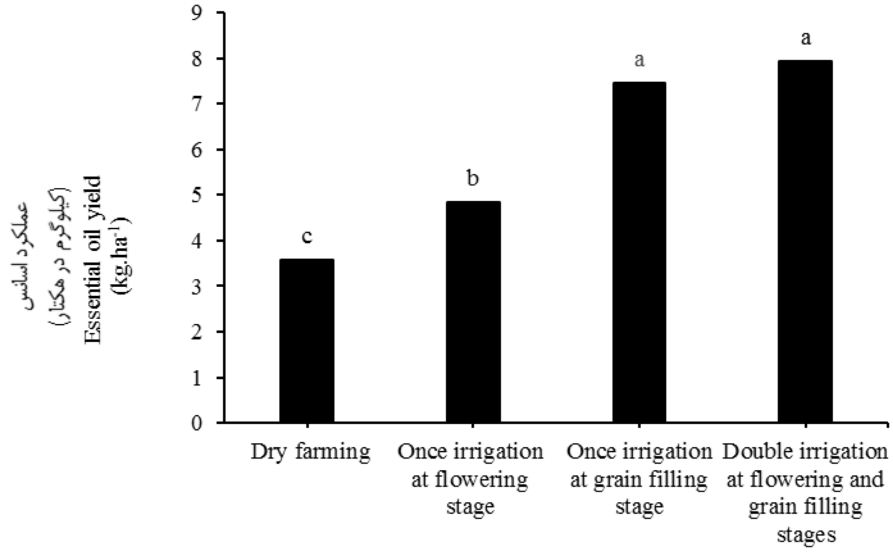
شکل ۲- مقایسه میانگین درصد اسانس تحت تأثیر اسید سالیسیلیک
Figure 2- Mean comparison of Essential oil percentage affected by salicylic acid

عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر اثرات ساده سطوح مختلف آبیاری و اسید سالیسیلیک بر عملکرد اسانس گیاه دارویی سیاهدانه معنی‌دار بود (P<۰/۰۱، جدول ۳)، ولی اثر متقابل آبیاری و اسید سالیسیلیک بر این صفت معنی‌دار نبود. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد اسانس در واحد سطح از تیمار دو بار آبیاری (۷/۹۳ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد که با تیمار آبیاری در مرحله پر شدن دانه (۷/۴۶ کیلوگرم در هکتار) از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳). کمترین میزان عملکرد اسانس را تیمار دیم (۳/۵۸ کیلوگرم در هکتار) به‌خود اختصاص داد، به‌طوری که تیمار آبیاری در مرحله گلدهی نسبت به تیمار دیم ۳۵/۴۷ درصد باعث افزایش عملکرد اسانس گردید (شکل ۳).

نتیجه آزمایشات قبلی انجام گرفته روی گیاهان دارویی حاکی از آن است که کاهش عملکرد اسانس در نتیجه کاهش رطوبت خاک ممکن است ناشی از اثر زیان‌بار تنش آبی بر رشد، پیکره رویشی و عملکرد گیاه باشد. با افزایش فواصل آبیاری، درصد و عملکرد دانه سیاهدانه کاهش می‌یابد که این امر منجر به کاهش عملکرد اسانس می‌گردد (Noroz Poor and Rezvani Moghadam, 2006). گزارش شده، تنش کم‌آبی عملکرد را در گیاه شوید (*Anethum*

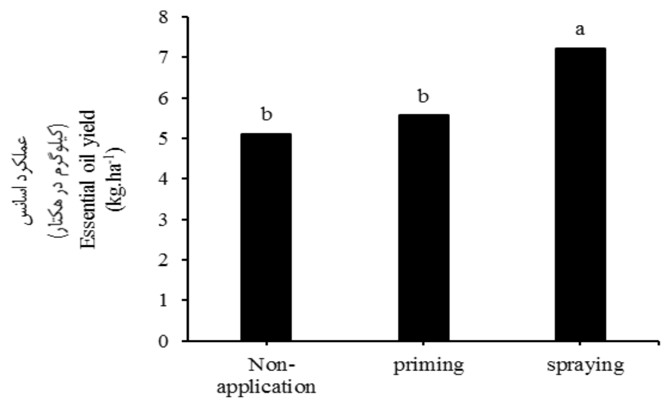
graveolens L.) کاهش داده است که نتیجه به‌دست آمده از این تحقیق را تأیید می‌کنند (Andlibi, 2009).



شکل ۳- مقایسه میانگین عملکرد اسانس تحت تأثیر آبیاری

Figure 3- Mean comparison of Essential oil yield affected by irrigation

نتایج نشان داد که بیشترین میزان عملکرد اسانس (۷/۲۱ کیلوگرم در هکتار) از تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به‌دست آمد (شکل ۴). کمترین میزان عمکرد اسانس را تیمار عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۵/۱ کیلوگرم در هکتار) به‌خود اختصاص داد که با تیمار پرایمینگ (۵/۵۶ کیلوگرم در هکتار) اختلاف معنی‌داری نداشت (شکل ۴). تیمار محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک بیشترین عملکرد اسانس در واحد سطح را تولید کرد و نسبت به تیمارهای عدم مصرف و پرایمینگ اسید سالیسیلیک به‌ترتیب ۴۱/۳۷ و ۲۹/۶۷ درصد افزایش نشان داد (شکل ۴). فاطما و غریب (Fatma and Gharib, 2007) گزارش کردند که اسید سالیسیلیک با افزایش عملکرد پیکر رویشی و درصد اسانس ریحان منجر به افزایش عملکرد اسانس گردید.



شکل ٤- مقایسه میانگین عملکرد اسانس تحت تأثیر اسید سالیسیلیک

Figure 4- Mean comparison of Essential oil yield affected by salicylic acid

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاربرد اسید سالیسیلیک باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی در تمام شرایط آبیاری گردید و کاربرد آن به‌ویژه به‌صورت محلول‌پاشی منجر به افزایش عملکرد دانه، درصد و عملکرد اسانس گردید. بر اساس گزارشات موجود، کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط کمبود آب می‌تواند از طریق افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و تنظیم اسمزی منجر به بهبود فتوسنتز گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد دانه و اسانس گردد. با توجه به این‌که بیشترین عملکرد دانه و اسانس از کاربرد محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک به‌دست آمد، لذا با توجه به معضل کم‌آبی در کشور می‌توان روش کاربرد محلول‌پاشی

اسید سالیسیلیک به همراه دوبار آبیاری را به‌عنوان راهکاری جهت کاهش اثرات تنش خشکی و تولید مطلوب در کشت سیاهدانه توصیه نمود.

References

1. Alizadeh, M., Balouchi, H. R., and Movahhedi Dehnavi, M. 2014. Effect of zinc sulfate and salicylic acid foliar application on morphological characteristics and yield of safflower under drought stress. Journal of Oil Plant Production 1 (2): 41-52. (in Persian with English abstract).
2. Andlibi, B. 2009. Changes in the amount and composition of essential oil in Iran (*Anethum graveolens* L.) during growth and development under limited irrigation conditions. Ph.D. in Agriculture, Faculty of Agriculture, Tabriz University. (in Persian).
3. Anjum, S., Xie, X. Y., Wang, L. C., Saleem, M. F., Man, C., and Wang, L. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. Africa Agriculture Journal 6 (9): 2026-2032.
4. Baljani, R., and Shekari, F. 2012. Effects of priming by salicylic acid on yield and growth indices of safflower (*Carthamus tinctorus* L.) plants under end season drought stress. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 22 (1): 103-87. (in Persian with English abstract).
5. Bayat, H., Mardani, H., Arouie, H., and Salahvarzi, Y. 2011. Effect of salicylic acid on morphological and physiological characteristics and cucumber seedlings (*Cucumis sativus cv. Super Dominus*) under drought stress. Journal of Plant Production 18 (3): 73-63. (in Persian with English abstract).
6. Clevenger, J. F. 1928. Apparatus for determination of essential oil. Journal of the American Pharmacists Association 17: 346-349.
7. EL-Tayeb, M. A. 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation 45: 215-225.
8. Esfini Farahani, M., Paknejad, F., Bakhtiari Moghtab, M., Alavi, S., and Hassibi, A. R. 2012. Effect of different application methods and rates of salicylic acid on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Agronomy and Plant Breeding 8: 69-77. (in Persian).
9. Elizabeth Abreu, M., and Munne-Bosch, S. 2008. Salicylic acid may be involved in the regulation of droughtinduced leaf senescence in perennials: A case study in field-grown *Salvia officinalis* L. plants. Environmental and Experimental Botany 64: 105-112.
10. Farjamfar, S., Rokhzadi, A., Mohammadi, H., and Ghale Shakhati, S. 2014. Effect of cut irrigation tension and foliar application of salicylic acid on growth, yield and yield components of three safflower cultivars. Crop Physiology Journal, Islamic Azad University, Ahwaz Branch 23 (6): 112-99. (in Persian).
11. Fatma, A. E., and Gharib, L. 2007. Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activites and oil content of basil and majoram. International Journal of Agriculture and Biology 4: 485-492.
12. Ghaderi, N., Talayi, A., Ebadi, A., and Lesani, H. 2010. Effect of drought stress and reirrigation on some physiological properties of grape varieties sahany, Farokhi and white currants. Journal of Horticultural Science 41 (2): 179-188. (in Persian with English abstract).
13. Harris, D., and Mottaram, A. 2004. Practical hydration of seed of tropical crops: on-farm seed priming. In “seed science and technology: Trends and Advances.
14. Hayat, Q., Hayata, S. H., Irfan, M., and Ahmad, A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment. Environmental and Experimental Botany 68: 14-25.
15. Hussein, M. M., Balbaa, L. K., and Gaballah, M. S. 2007. Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 3: 321-328.
16. Kabiri, R. 2011. Effect of salicylic acid on the reduction of drought-induced oxidative stress in hydroponic culture of black cumin. Faculty of Agriculture Shahid Beheshti University of Kerman. Master's thesis. (in Persian).
17. Koocheki, A., Nassiri-Mahallati, M., and Azizi, G. 2004. The effects of water stress and defoliation on some of quantitative traits of *Zataria multiflora*, *Ziziphora clinopodioides*, *Thymus vulgaris* and *Teucrium polium*. Iranian Journal of Field Crops Research 2 (1): 89-105. (in Persian with English abstract).
18. Khosarvi Pour, B., Syahpoush, A. R., and Mehmadi Karbalaii, Z. 2015. Importance of cultivation of medicinal plants and their production in agriculture. The first national conference on medicinal herbs and herbal medicines. Tehran. Center for Sustainable Development Science and Technology of Farzin. (in Persian).
19. Madah, S., Falahyan, F., Sabakhporand, F., and chalpyan, H. 2006. Effect of salicylic acid on yield and yield components and instruction of chickpea plant. Journal Plant Science 2 (1): 61-70. (in Persian).
20. Majnoon Hosseini, N., and Davazdah-Emami, S. 2007. Crops and the production of medicinal plants and spices. Tehran University Publications 116p. (in Persian).
21. Medrano, H., Escolana, J. M., Bota, J., Gulias, J., and Flexas, J. 2002. Regulation of photosynthesis of C_3 plants in response to progressive drought: Stomatal conductance as a reference parameter. Annals of Botany 89: 895-905.
22. Metwally, A., Finkemeier, I., Georgi, M., and Dietz, K. J. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. Physiology and Biochemistry of Plant 132: 272- 281.

23. Moradi Marjaneh, E., and Goldani, M. 2011. Evaluation of different salicylic acid levels on some growth characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under limited irrigation. Environmental Stresses in Crop Sciences 4 (1): 33-45. (in Persian).
24. Noroz Poor, Gh., and Rezvani Moghadam, P. 2005. Effect of different irrigation intervals and plant density on yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 3 (2): 305-314. (in Persian).
25. Noroz Poor, Gh., and Rezvani Moghadam, P. 2006. Effect of different irrigation intervals and plant density on oil yield and essences percentage of black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Horticulture and Plant Research 73: 133-138. (in Persian with English abstract).
26. Pak Mehr, A., Rastgoo, M., Shekari, F., Saba, J., Vazayefi, M., and Zangani, A. 2011. Effect of salicylic acid priming on yield and yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit at reproductive stage. Iranian Journal of Pulses Research 2 (1): 53-64. (in Persian with English abstract).
27. Pourakbar, L., and Abedzadeh, M. 2015. Investigating the effects of magnetic field and salicylic acid on *Melissa officinalis* (*Lamiaceae*) under UV-B stress. Nova Biologica Reperta 1 (2): 40-56. (in Persian with English abstract).
28. Ramrodi, M., and Khamar, A. R. 2013. Interaction effects of salicylic acid spraying and different irrigation levels on some quantity and quality traits, and osmotic regulators in basil (*Ocimum basilicum*). Journal of Applied Research of Plant Ecophysiology 1 (1): 19-32. (in Persian).
29. Rebey, B. I., Jabri-Karoui, I., Hamrouni-Sellami, I., Bourgou, S., Limam, F., and Marzouk, B. 2012. Effect of drought on the biochemical composition and antioxidant activities of cumin (*Cuminum cyminum* L.) seeds. Industrial Crops and Products 36: 238-245.
30. Rezaei Chiyaneh, E. 2012. Effect of different irrigation treatments on the accumulation of essential oils, its compounds and some ecophysiological traits in fennel. Ph.D. in Agriculture, Agricultural University, Tabriz University. (in Persian).
31. Rezaei Chiyaneh, E., and Pirzad, A. R. 2014. Effect of salicylic acid on yield, component yield and essential oil of black cumin (*Nigella sativa* L.) under water deficit stress. Iranian Journal of Agricultural Research 12 (3): 427-437. (in Persian).
32. Rezapor, A. R., Heidari, M., Galavi, M., and Ramrodi, M. 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, grain yield components and osmotic adjustment in *Nigella sativa* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27 (3): 384-396. (in Persian with English abstract).
33. Sadeghi Pour, A. 2011. Study of biochemical and physiological reactions of beans affected by water stress and treatment with salicylic acid. Master thesis. Islamic Azad University, Rey campus, Iran. (in Persian).
34. Sadeghzadeh-Ahari, D., Hassandokht, M. R., Kashi, A. K., Amri, A., and Alizadeh, K. H. 2010. Genetic variability of some agronomic traits in the Iranian fenugreek landraces under drought stress and non-stress conditions. African Journal of Plant Science 4: 12-20. (in Persian).
35. Sepehri, A., Abasi, R., and Karami, A. 2014. Effect of drought stress and salicylic acid on yield and yield components of bean genotypes. Journal of Crops Improvement 17 (2): 503-516. (in Persian).
36. Shekari, F., Pakmehr, A., Rastgoo, M., Saba, J., Vazayefi, M., and Zangani, E. 2010. Salicylic acid priming effects on some morphological traits of cowpea cultivar (*Vigna unguiculata* L.) under water deficit at podding stage. Journal of Agricultural Sciences 4 (1): 26-10. (in Persian).
37. Shibamoto, K., Mochizuki, M., and Kusuhara, M. 2010. Aroma therapy in antiaging medicine. Anti-Aging Medicine 7 (6): 55-9.
38. Shirzad, S., Hossein, A., and Daliry Moghadam, R. 2011. Influence of drought stress and interaction with salicylic acid on medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) seedling growth. Botany Research Journal 4: 35-40. (in Persian).
39. Umebese, C. E., Olatimilehin, T. O., and Ogunsusi, T. A. 2009. Salicylic acid protects nitrate reductase activity, growth and proline in amaranth and tomato plants during water deficit. American Journal of Agricultural Biological Sciences 4 (3): 224-229.
40. Wen, P. F., Chen, J. Y., Wan, S. B., Kong, W. F., Zhang, P., Wang, W., Zhan, J., Pan, Q. H., and Hung, W. D. 2005. Salicylic acid activates phenylalanine ammonia-lyase in grape berry in response to high temperature stress 55 (1): 1-10.
41. Yavas, I., and Unay, A. 2016. Effects of zinc and salicylic acid on wheat under drought stress. The Journal of Animal and Plant Sciences 26 (4): 1012-101.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 18, No. 1, Spring. 2020, p. 125-137

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص. ۱۳۷-۱۲۵

Effect of Application Methods of Salicylic Acid on Morphological Characteristics, Grain Yield and Essential Oil of Black Cumin (*Nigella Sativa* L.) under Water Stress Conditions

H. Azadvari[1], M. Naeemi[2*], A. Gholizadeh[3], A. Nakhzari Moghaddam[4]

Received: 03-09-2019
Accepted: 14-12-2019

Introduction

Black cumin (*Nigella sativa* L.) is an annual plant from the buttercup family that has been used in food industry and cosmetic products in addition to its medicinal value. It is well known that abiotic stresses especially drought stress are very restrictive factors for agricultural production around the world. Drought stress affects a vast range of morphological, physiological and biochemical characteristics of plants. Due to the decrease and shortage of agricultural water resources, researchers have conducted various researches to find materials that increase the efficiency of water use and maintenance in plants. One of these compounds is salicylic acid, and this material is naturally present in most plants and affects many physiological activities of the cell. Due to the decrease and shortage of agricultural water resources, researchers have conducted various researches to find materials that increase the efficiency of water use and maintenance in plants. One of these compounds is salicylic acid, and this material is naturally present in most plants and affects many physiological activities of the cell. Salicylic acid is a naturally occurring plant hormone that controls plant growth and induces water deficit tolerance in plants. One of these compounds is salicylic acid, and this material is naturally present in most plants and affects many physiological activities of the cell. Salicylic acid is a naturally occurring plant hormone that controls plant growth and induces water deficit tolerance in plants.

Materials and Methods

This study was conducted based on randomized complete design with factorial arrangement of treatment and three replications at research field of Gonbad Kavous University, Iran in 2018 winter and spring. Different irrigation regimes at four levels including no irrigation (dry farming), once irrigation at flowering stage, once irrigation at grain filling stage and twice irrigation at flowering and grain filling stages as well as salicylic acid factor at three levels including no application (control), seed priming (with 0.5 mM concentration), foliar spraying (with 0.5 mM concentration) were studied. After application of the treatments, the necessary sampling was done and the traits such as plant height, number of lateral branches, number of follicle per plant, number of seeds per follicle, weight of follicle per plant, plant dry weight, essential oil content, essential oil yield and, finally, grain yield in the plant were evaluated. Statistical calculations were performed using SAS 9.1 software. The mean of studied traits was also compared by using the least significant difference between the protected LSD at 5% probability level. The required graphs were also drawn using Excel software.

Results and Discussion

The results showed that simple effects of irrigation and salicylic acid on all traits were significant. The effects of irrigation and salicylic acid on all studied traits were also significant, except essential oil percentage and essential oil yield. The use of salicylic acid increased morphological traits. Also, the effects of irrigation and salicylic acid on all studied traits were significant, except essential oil percentage and essential oil yield. The use of salicylic acid increased morphological traits. The highest amount of essential oil and essential oil yield in irrigation levels were related to the irrigation at filling stage (0.65%) and twice irrigation at flowering and grain filling stages (7.93 kg ha^{-1}), respectively. Salicylic acid treatment was the most essential oil and essential oil yield for salting. The highest grain yield (1330 kg ha^{-1}) was obtained in foliar spraying application of salicylic acid under twice irrigated conditions and the lowest grain yield (817 kg ha^{-1}) was obtained in non-application of salicylic acid at dry farming conditions.

1- MSc in Agroecology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavoos
2- Ph.D. in crop ecology, Assistant Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavoos
3- Ph.D. Soil Science, Chemistry and Soil Fertility and Plant Nutrition, Assistant Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Natural Resources, University of Gonbad Kavoos
4- Ph.D. in crop ecology, Assistant Professor, Department of Plant Production, Faculty Members, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavoos
(*- Corresponding Author Email: Naeemi_701@yahoo.com)

Conclusions

Salicylic acid is able to reduce the negative effects of drought stress on black cumin plant. In general, the results showed that by using salicylic acid in the form of foliar application and twice irrigation, optimal yield of black cumin was achieved.

Keywords: Drought stress, Essential oil, Grain yield, Priming, Spraying